

ANÁLISIS MULTIESCALA DE REGISTROS DE POZO EN CAMPOS DE EE. UU. Y VENEZUELA

RUBYMER MORÁN^{1,a}, MILAGROSA ALDANA^{2,b}, ILICH GARCÍA^{2,c}, SARY ZAMBRANO^{3,d}, JOSÉ BAENA^{2,e}

¹Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Geofísica, Caracas, Venezuela.

²Universidad Simón Bolívar, Departamento de Ciencias de la Tierra, Caracas, Venezuela.

³ReMASA, Buenos Aires, Argentina.

e-mail: ^amoranruby28@gmail.com, ^bmaldana@usb.ve, ^cilichgar@usb.ve, ^dsaryzambrano@remasa.com, ^ejbaena@usb.ve

Recibido: febrero de 2021

Aprobado para publicación: mayo de 2021

RESUMEN

En este estudio se analizan perfiles de tres pozos ubicados en los campos West Waha-Worsham Bayer (Texas, EE. UU.), y tres en el Campo Dragón (Venezuela) con el objetivo de identificar límites estratigráficos y determinar ciclicidades asociadas a las variaciones orbitales en las Formaciones Thirtyone y Cubagua, respectivamente. Con este fin se utilizó la Transformada Ondícula, Continua y Discreta, para descomponer registros de Rayos Gamma (GR) y resistividad (Rt) de los pozos. Se generaron escalogramas y se hizo un análisis multirresolución de las señales. Los escalogramas permitieron discriminar y localizar anomalías a diferentes escalas, que se pudieron asociar a límites estratigráficos. Esto sirvió como base para el análisis multirresolución usado en el reconocimiento de ciclos sedimentarios atribuibles a las frecuencias de Milankovitch. La identificación de periodicidades cercanas a los valores teóricos de Milankovitch sugiere la influencia de estos ciclos en la sedimentación de las Formaciones estudiadas. La combinación de registros GR y escalogramas permitió realizar una correlación entre pozos y calcular la tasa de sedimentación en los campos. Los resultados obtenidos permiten concluir que la Transformada Ondícula proporciona información útil para la caracterización y división cuantitativa de los ciclos sedimentarios presentes en las unidades estratigráficas consideradas. Este tipo de análisis, de naturaleza más cuantitativa, probó ser de gran utilidad para mejorar la comprensión de los procesos sedimentarios y su relación con los ciclos de Milankovitch en ambos campos, lo que sugiere su implementación para una caracterización más detallada de una zona de interés.

Palabras claves: Transformada Ondícula, CWT, DWT, Escalogramas, ciclos de Milankovitch.

MULTI-SCALE ANALYSIS OF WELL LOGS IN FIELDS FROM USA AND VENEZUELA

ABSTRACT

In this study, profiles of six wells are analyzed, three located in the West Waha - Worsham Bayer fields (Texas, USA) and the other three in the Dragon Field (Venezuela), in order to identify stratigraphic boundaries and determining cyclicities associated with orbital variations in the Thirtyone and Cubagua formation, respectively. For this purpose, the Wavelet Transform, Continuous and Discrete, was used to decompose Gamma Ray (GR) and resistivity (Rt) well logs. The data were processed to obtain scalograms and to perform multi-resolution analysis of the signals. The scalograms allowed for the discrimination and localization of anomalies at different scales, which were associated with stratigraphic boundaries. This served as a basis for the multiresolution analysis used to recognize sedimentary cycles attributable to Milankovitch frequencies. The identification of periodicities near the theoretical values of Milankovitch suggests the influence of these cycles on the sedimentation of the formations studied. The combination of GR logs and scalograms allowed for a detailed lateral correlation between wells and the calculation of the sedimentation rates in the fields. The results obtained allow us to conclude that the Wavelet Transform provides useful information for the characterization and quantitative division of the sedimentary cycles present in the stratigraphic units considered. This kind of analysis, of a more quantitative nature, proved to be very useful to improve the understanding of sedimentary processes and their relationship with Milankovitch cycles in both fields, suggesting its implementation for a more detailed characterization of an area of interest.

Keywords: Wavelet Transform, CWT, DWT, Scalograms, Milankovitch cycles.

INTRODUCCIÓN

La Transformada Ondícula representa una alternativa matemática para el análisis de señales no estacionarias. El interés de la misma radica en la posibilidad que ofrece de superar algunas limitaciones al emplear otras transformadas convencionales, como la Transformada de

Fourier, permitiendo realizar un análisis multirresolución, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia (escala) (Sánchez et al. 2017).

En el área de Ciencias de la Tierra, en particular en Geofísica, la Transformada Ondícula ha adquirido gran relevancia para el análisis de señales. Yu et al. (2008) y

Coconi-Morales et al. (2010), por ejemplo, realizan un análisis de registros de pozos utilizando la Transformada Ondícula. Los resultados de estos análisis se muestran en términos de escalogramas y análisis multiresolución del registro Gamma Ray (GR), que se utilizan a fin de interpretar las variaciones de la señal y obtener, de estas, pseudolongitudes de onda características para cada escala (frecuencia). La localización exacta de los límites entre capas, de distinto espesor o litología, se identifica a partir de las anomalías observadas en las escalas (frecuencias) más bajas del escalograma. Las pseudolongitudes se asocian a posibles variaciones orbitales (Ciclos de Milankovitch) en las zonas de estudio. Estas variaciones orbitales (precesión, oblicuidad y excentricidad), que operan a decenas o cientos de miles de años, son capaces de inducir cambios sustanciales en el clima que, en ocasiones, quedan registrados en sucesiones sedimentarias, ya sean marinas o continentales (Martín-Chivelet et al., 2015). Por esta razón, determinar la influencia de ciclicidades de Milankovitch puede ser de gran importancia en la exploración de

depósitos sedimentarios (Yu et al., 2008), pues contribuye a avanzar en la caracterización de sucesiones cíclicas y, además, en una correlación de alta precisión que podría ayudar en la definición y maduración de prospectos y sus riesgos.

El presente estudio tiene como objetivo principal analizar perfiles de pozos pertenecientes a los campos West Waha - Worsham Bayer (Texas, EE. UU.) (ver Figura 1(a)) y Dragón (Venezuela) (ver Figura 1(b)), ambos productores de gas, con el fin de identificar límites estratigráficos y determinar periodicidades derivadas de los ciclos de Milankovitch, usando la Transformada Ondícula. La aplicación de esta transformada, tanto Continua como Discreta, permitiría analizar los datos con una aproximación más cuantitativa que ha probado, previamente, buenos resultados en la caracterización detallada de procesos de sedimentación en otras áreas (e.g. Coconi-Morales et al., 2010; Sánchez et al., 2017).

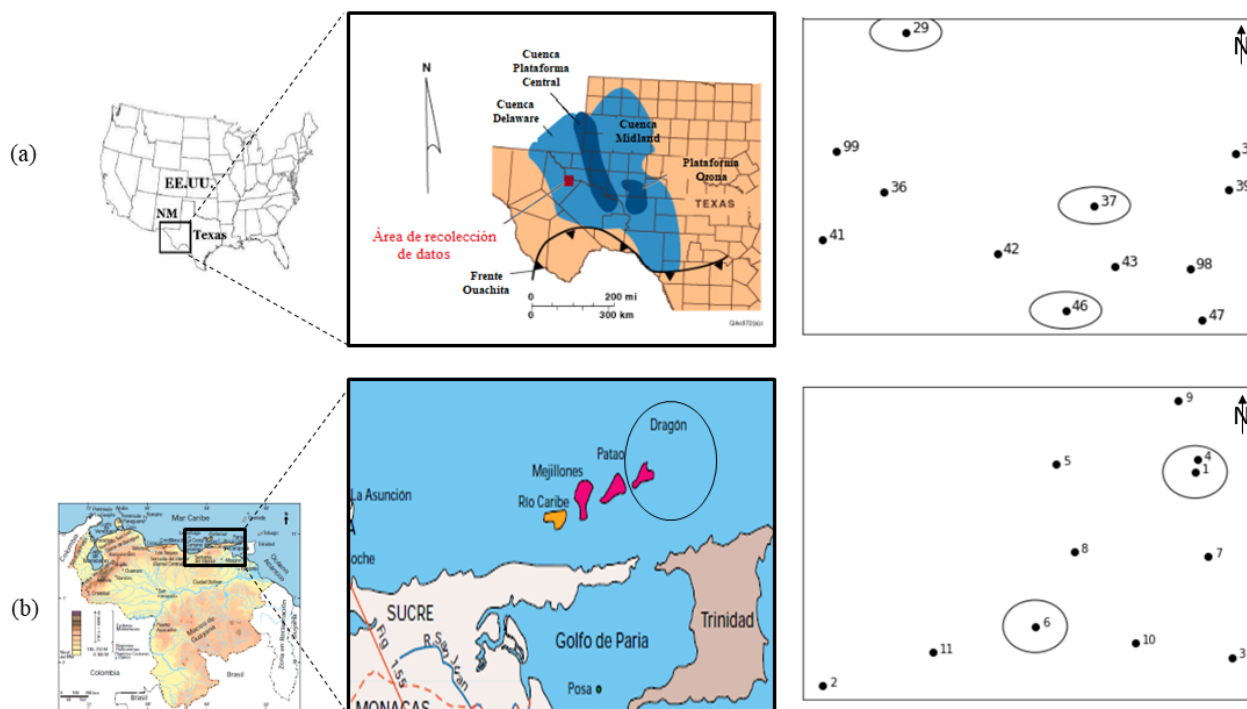


Figura 1. (a) Mapa de ubicación de los campos West Waha-Worsham-Bayer, EE. UU. (Modificado de Haruna et al., 2014) y de los pozos seleccionados (encerrados en círculos). (b) Mapa de ubicación del Campo Dragón, Venezuela y de los pozos seleccionados (encerrados en círculos).

En los campos West Waha - Worsham Bayer, se desea estudiar y caracterizar la sección estratigráfica del Devónico Inferior, Formación Thirtyone (ver Figura 2). En el Campo Dragón, se desea analizar el intervalo correspondiente a la Formación Cubagua, depositada durante el Mioceno Tardío y el Plioceno Temprano (ver Figura 3). Se espera obtener información útil que permita llevar a cabo un análisis estratigráfico secuencial y determinar si las variaciones orbitales influyeron en la sedimentación de las unidades estratigráficas consideradas.

MARCO ESTRATIGRÁFICO

Campos West Waha - Worsham Bayer

Los campos West Waha y Worsham Bayer se encuentran ubicados al sureste de la Cuenca Delaware, la cual representa uno de los dos lóbulos principales de la Cuenca Pérmica en el oeste de Texas y al sureste de Nuevo México (Figura 1(a)).

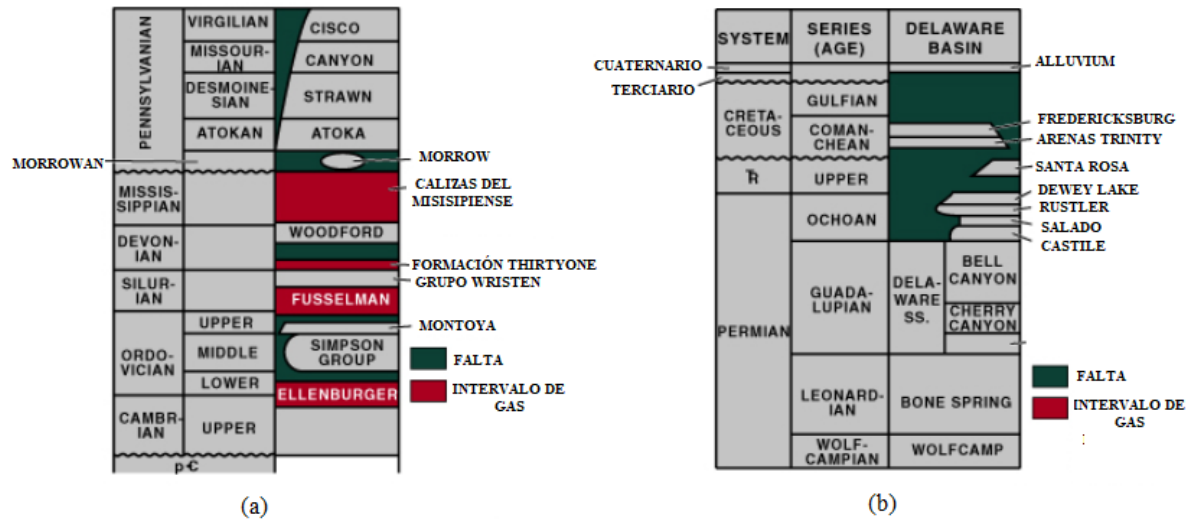


Figura 2. (a) Columna estratigráfica de la Cuenca Delaware, desde el Precámbrico hasta el Pensilvaniense. (b) Columna estratigráfica de la Cuenca Delaware, desde el Pérmico hasta el Cuaternario. (Modificado de *Kosters et al. 1989; Ruppel y Holtz, 1994*).

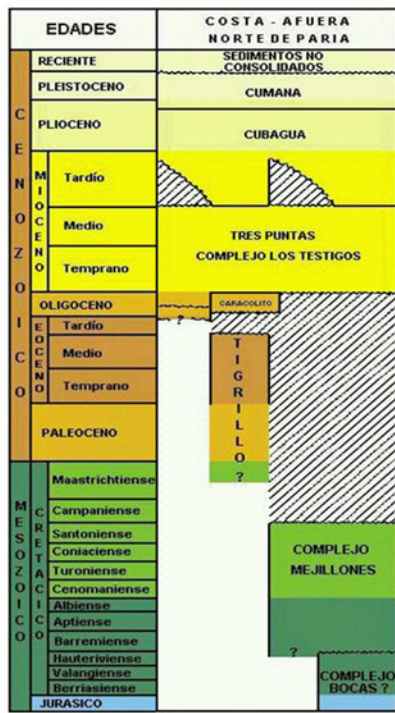


Figura 3. Columna Estratigráfica de la Cuenca Carúpano (Tomada de *Castro y Mederos, 1984*).

La Cuenca Delaware se desarrolló durante la fase tectónica del Precámbrico (c. 1300-850Ma), siendo en el Proterozoico el borde suroeste del cratón norteamericano. Luego, una actividad tectónica en el Ordovícico Inferior generó fallamiento y rotación de estructuras (*Kyle, 1990*). En el Ordovícico Medio, la acumulación de sedimentos clásticos basales se produjo debido a una transgresión, seguida de una regresión, lo que dio lugar a un proceso de karstificación y exposición extensa. En el Ordovícico Superior, se

sedimentaron areniscas y lutitas (*Kerans, 1990*), que fueron cubiertas por cherts y carbonatos en el Silúrico.

Desde el Silúrico al Devónico Temprano, se depositaron secuencias de carbonatos, sin ninguna interferencia estructural, que dieron origen a la Formación Thirtyone. La sedimentación ocurre, principalmente, por un aumento relativo del nivel del mar. Durante este aumento, los sedimentos silíceos fueron cubiertos por carbonatos depositados en una vertiente de agua somera (*Ruppel y Holtz, 1994*). Algunos estudios sugieren que la acumulación de los sedimentos ricos en silíceo estuvo controlada por la geometría de la Cuenca Pérmica (*Ruppel y Barnaby, 2001*). En las Figuras 2(a) y 2(b) se presenta la columna estratigráfica de la Cuenca Delaware, desde el Precámbrico hasta el Pensilvaniense y desde el Pérmico hasta el Cuaternario, respectivamente.

Campo Dragón

El Campo Dragón se encuentra ubicado al noreste de la Península de Paria, Estado Sucre (*Figura 1(b)*), específicamente en la Cuenca de Carúpano, sobre el alto estructural de Patao. Esta cuenca es una depresión estructuralmente compleja y posee una extensión aproximada de 30.000 km². Está delimitada por la Plataforma de Margarita-Los Testigos, al norte; la Península de Araya-Paria y la Cordillera Norte de Trinidad, al sur; la Isla de Tobago, al este, y el Alto de Margarita, Coche y Araya, al Oeste (*Valencia y Ramírez, 2014*).

La Cuenca de Carúpano está compuesta por una depresión principal ubicada hacia el noroeste, denominada Sub-cuenca de Caracolito, y otras de carácter secundario denominadas subcuencas de Paria, Araya y sureste de Margarita. Estas sub-cuencas están separadas entre sí por los altos estructurales de Patao, San Juan de las Galdonas, Araya y Coche y por la Isla de Margarita (*Valencia y Ramírez, 2014*).

Estratigráficamente, la Cuenca de Carúpano está constituida por 8 unidades litoestratigráficas, las cuales, desde el periodo Jurásico hasta el Pleistoceno (ver [Figura 3](#)), son: Complejo Bocas (Jurásico a Cretáceo inferior), Complejo Mejillones (Cretáceo inferior a superior), Formación Tigrillo (Eoceno inferior a Eoceno medio), Formación Caracolito (Oligoceno), Complejo Los Testigos (tope del Eoceno superior - Oligoceno inferior), Formación Tres Puntas (Mioceno inferior a Mioceno medio), Formación Cubagua (Mioceno al Plioceno superior) y Formación Cumaná (Plioceno superior a Pleistoceno).

La Formación Cubagua es una secuencia de sedimentos marinos fosilíferos del Mioceno al Plioceno. Se cree que el intervalo superior se depositó en aguas tropicales someras de mar abierto y detrás de arrecifes, mientras que la parte inferior se originó en un ambiente nerítico interior de plataforma abierta. Esta Formación infrayace y suprayace concordantemente a la Formación Cumaná y la Formación Tres Puntas, respectivamente. En algunos casos, suprayace discordantemente a la Formación Tres Puntas por la ausencia del Mioceno superior ([Castro y Medero, 1984](#)).

MARCO TEÓRICO

En el análisis de señales, la herramienta generalmente utilizada es la Transformada de Fourier. Esta transformación matemática permite descomponer una señal periódica, en tiempo, en una serie de armónicos de frecuencias diferentes. En el caso de señales no periódicas, la Transformada de Fourier permite obtener el espectro o contenido de frecuencias de una función ([Sutherland, 1994](#)). Esta transformada, sin embargo, no proporciona información respecto a la evolución del contenido de frecuencias en el tiempo o de las propiedades locales del contenido de frecuencias de la señal. Esto se debe a que su aplicación conlleva integrar la señal sobre todo el dominio, en tiempo, de la misma ([Kaiser, 1994](#)). Para obtener información tiempo-frecuencia simultáneamente, la señal en tiempo puede dividirse en bloques o ventanas y calcular la Transformada de Fourier en cada una de esas ventanas. De esta manera es posible conocer el contenido o comportamiento de la frecuencia de la señal durante el período de tiempo cubierto por la ventana correspondiente ([Qian, 2002](#)). Esta transformada se conoce como Transformada de Fourier por ventanas, Transformada de Fourier de corta duración o Transformada de Fourier de tiempo corto (STFT, por sus siglas en inglés) ([Daubechies, 1992](#)). El mayor inconveniente con esta transformación es que una buena resolución en tiempo (ventanas pequeñas en tiempo) se traduce en una baja resolución en frecuencias.

La Transformada Ondícula Continua (CWT) es un método de análisis de tiempo-frecuencia de una señal, que se diferencia de la STFT porque permite una resolución o localización arbitrariamente alta, en tiempo, de las características en frecuencia de la señal. El considerar un ancho de ventana variable, relacionado con la escala de observación, cuando se calcula la CWT, le da flexibilidad a esta transformada, permitiendo el aislamiento de las características de alta frecuencia. Otra distinción importante respecto a la STFT, es que la CWT no se limita a utilizar funciones sinusoidales para hacer el análisis. Por

el contrario, se puede emplear una gran selección de formas de onda localizadas, siempre que satisfagan criterios matemáticos predefinidos ([Addison, 2005](#)).

Así, la Transformada Ondícula proporciona una solución a los inconvenientes indicados cuando se aplica la Transformada de Fourier y la Transformada de Fourier de corta duración, al utilizar una ventana modulada escalable y proveer una representación de la señal a escala de tiempo, calculando el espectro en cada posición y cambiando la ventana escalable a lo largo de la señal. La Transformada Ondícula de una señal continua en tiempo, $f(t)$, se define como:

$$T(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

donde $\psi(t)$ es el "kernel" de la transformada u ondícula madre, $\psi^*(t)$ es la función compleja conjugada de $\psi(t)$, a es el parámetro de dilatación o escalamiento de la ondícula y b es el parámetro de ubicación, localización o desplazamiento de esta. Para ser clasificada como una ondícula, la función debe satisfacer ciertos criterios matemáticos, entre los cuales están ([Addison, 2005](#)):

1. Una ondícula debe tener energía finita,

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty$$

2. Si $\psi(\omega)$ es la Transformada de Fourier de $\psi(t)$,

$$\psi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) e^{-j\omega t} dt,$$

entonces debe cumplirse la siguiente condición:

$$C_g = \int_0^{\infty} \frac{|d\omega|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (2)$$

Esto implica que la ondícula no tiene componente de frecuencia cero, es decir, $\psi(0) = 0$ o, de manera equivalente, que debe tener una media igual a cero. La última relación se conoce como "Condición de admisibilidad" y C_g se llama "Constante admisible". El valor de C_g depende de la ondícula seleccionada.

3. Para ondículas complejas, la Transformada de Fourier debe ser real y hacerse nula a frecuencias negativas.

La contribución a la energía de la señal en la ubicación específica de las escalas a y b viene dada por la función de densidad de energía de ondícula bidimensional, conocida como "Escalograma": $E(a, b) = |T(a, b)|^2$. La energía total de la señal se puede calcular a partir de la Transformada Ondícula de acuerdo a ([Addison, 2005](#)):

$$E = \frac{1}{C_g} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{a^2} |T(a, b)|^2 da db \quad (3)$$

La Transformada Ondícula Discreta (DWT) se calcula a partir de una discretización de la Transformada Ondícula Continua $T(a, b)$. A tal fin, se suele hacer una discretización logarítmica de la escala, a , y asociarla a los intervalos que

se consideren para muestrear la ubicación, b (Barmase et al., 2013). Una manera simple y eficiente de discretizar estos parámetros, equivalente a lo que se hace con una Transformada Rápida de Fourier (FFT), es utilizando un malla diádico, es decir, se hace un escalamiento de ambos parámetros en potencias de 2, donde $a_j = 2^j$ y $b_k = k \cdot 2^j$ y las ondículas forman una base ortonormal. La ondícula madre se puede expresar, entonces, como (Addison, 2005):

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}(2^j t - k), \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (4)$$

donde j es el índice de potencia asociado a la escala a y k es el índice correspondiente a la ubicación b . La ortonormalidad de las ondículas permite una descomposición multiresolución de la señal. La función ψ se comporta como un filtro paso-banda, filtrando la señal alrededor de la frecuencia central con distintas resoluciones 2^j . Por lo tanto, la Transformada Ondícula Discreta (DWT) de una función $f(t)$, de energía finita, se puede expresar como (Coconi-Morales, 2010):

$$DW_{\psi}f(j, k) = T_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi_{j,k}(t)dt \quad (5)$$

En la relación anterior, $T_{j,k}$ es el coeficiente de la ondícula o de detalle con índices j y k de escala a , y localización, b , respectivamente. La función $f(t)$ puede ser reconstruida a partir de los coeficientes $T_{j,k}$ de la DWT usando la transformación inversa.

$$f(t) = \sum_j \sum_k T_{j,k} \psi_{j,k}(t) \approx \sum_j \sum_k \langle f, \psi_{j,k}(t) \rangle \quad (6)$$

METODOLOGÍA

En el presente trabajo se analizaron, utilizando la Transformada Ondícula, perfiles de seis pozos ubicados en dos campos gasíferos: tres en el campo West Waha - Worsham Bayer y tres en el campo dragón. Se seleccionaron aquellos pozos cuyos registros GR y Rt presentaban continuidad (valores diferentes a -999,99) en el intervalo de estudio. Como resultado, se eligieron los pozos 29, 37 y 46 de los campos West Waha - Worsham Bayer (ver Figura 1(a)) y los pozos 1, 4 y 6 del campo Dragón (ver Figura 1(b)).

El pozo 29 es el único que cuenta con información detallada sobre los topes estratigráficos de la Formación Thirtyone. Los topes de los pozos 37 y 46 de esta misma Formación, se determinaron a partir del análisis de los registros y con ayuda de estudios previos realizados por Adekunle (2012) y Avilés (2013). Para el intervalo correspondiente a la Formación Cubagua, se establecieron los topes estratigráficos utilizando como guía los estudios llevados a cabo por Vásquez y Ochoa (2014), Mota (2015) y Arriaga (2009). En las Tablas 1(a) y 1(b) se presentan los topes estratigráficos establecidos en los pozos de ambos campos.

En todos los pozos seleccionados, se llevó a cabo un análisis petrofísico preliminar para identificar la litología y los fluidos presentes. Luego, se aplicó la Transformada Ondícula a los registros de GR y Rt usando las rutinas computacionales desarrolladas por Sánchez (2011)

para generar escalogramas y descomponer el registro GR en diferentes niveles de resolución. Cabe destacar que la elección de la ondícula madre puede influir en los resultados (Misiti et al., 1997). En el presente trabajo, para aumentar la precisión en la interpretación de las señales sedimentarias, se empleó la ondícula Biorotogonal de Orden 3.9 y la ondícula Coiflet de Orden 4 para generar escalogramas y realizar la descomposición multiresolución, respectivamente. La frecuencia asociada a la escala se calcula a partir de la frecuencia central de la ondícula y del intervalo de muestreo (resolución vertical) del registro considerado (Misiti et al., 1997).

Tabla 1(a). Topes estratigráficos establecidos para los campos West Waha - Worsham Bayer.

Pozos	Registro	Topes (pies)	Intervalo estudiado (pies)
29	Rt, GR	T1:16110 T2:16760	16760 - 16110 = 650
37	Rt, GR	T1:14146 T2:14778	14778 - 14146 = 632
46	Rt, GR	T1:13181 T2:12543	13281 - 12543 = 738

T1: Tope y T2: Base Formación Thirtyone, Rt: Registro de Resistividad, GR: Registro de Rayos Gamma

Tabla 1(b). Topes estratigráficos establecidos para el Campo Dragón.

Pozos	Registro	Topes (pies)	Intervalo estudiado (pies)
1	Rt, GR	T1:7550 T2:7800	7800 - 7550 = 250
4	Rt, GR	T1:7400 T2:7900	7900 - 7400 = 500
6	Rt, GR	T1:7550 T2:8050	8050 - 7550 = 500

T1: Tope y T2: Base de la Formación Cubagua.

El análisis se dividió en dos partes. En la primera, se realizó la interpretación de los escalogramas asociados a los registros de pozos (GR y Rt) para establecer una posible relación con los límites de secuencias estratigráficas previamente definidos (Tablas 1(a) y 1(b)) y realizar una correlación lateral más detallada entre los pozos, integrando ambos resultados (i.e. escalogramas e información de topes). La segunda consistió en el análisis de periodicidades de Milankovitch con ayuda de los escalogramas para llevar a cabo el análisis multiresolución. Se aplicaron dos métodos diferentes en esta etapa del análisis:

1. El primer método (Método 1) se basa en la metodología propuesta por Coconi-Morales et al. (2010) para calcular la tasa de sedimentación utilizando el registro GR. Este método consiste en identificar los eventos representativos en el escalograma del registro GR y verificar si su relación se aproxima a la relación teórica de Milankovitch (1:2:4,8). Estos eventos se identifican en términos de anomalías bien definidas, delimitadas o encerradas en morfologías similares a "burbujas" (Sánchez et al., 2017). La tasa de sedimentación se calcula, entonces, utilizando la ecuación:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (7)$$

El período T se sustituye por los períodos de Milankovitch (20, 41 o 100 Ka) y la longitud de onda λ (1/número de onda) por la relacionada con dicho período.

2. El segundo método (Método 2) se basa en la metodología propuesta por Yu et al. (2008) para calcular la tasa de sedimentación a partir de un registro GR. El primer paso consiste en calcular los niveles de descomposición, asociados a la escala de los eventos representativos, utilizando la ecuación (8), donde n es el nivel de descomposición y a la escala.

$$n = \log_2(a) \quad (8)$$

Una vez obtenidos los distintos niveles, se descompone el registro y se cuentan las periodicidades en cada nivel. Si se encuentra una relación entre los valores obtenidos y los valores teóricos de Milankovitch (20, 40, 100 Ka), se realiza el cálculo de la tasa de sedimentación (T) usando la relación:

$$T\left(\frac{m}{Ka}\right) = \frac{\text{Longitud del intervalo (m)}}{\text{Número de ciclos} \times \text{Período (Ka)}} \quad (9)$$

Además, se generaron periodogramas utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a fin de correlacionar los resultados de este análisis con los obtenidos usando los métodos 1 y 2.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la Transformada Ondícula, Continua y Discreta, a los registros GR y Rt de los pozos seleccionados en las dos áreas de estudio y en los intervalos de interés correspondientes. Primero se presentan los resultados del análisis de los escalogramas y las correlaciones entre pozos; luego se muestran los resultados del análisis multiresolución para el estudio de ciclicidades en las Formaciones Thirtyone y Cubagua de los campos West Waha - Worsham Bayer y Dragón, respectivamente.

Análisis de escalogramas

En la Figura 4 se presenta un ejemplo del análisis realizado, en términos de escalogramas, a los registros de pozos del campo West Waha - Worsham Bayer, en el intervalo asociado a la Formación Thirtyone; los escalogramas corresponden al registro GR y Rt del pozo 37. En este escalograma es posible observar variaciones de colores que representan las componentes de distintas frecuencias. En azul se presentan las componentes de alta frecuencia, que corresponden a escala baja; en rojo se muestran las componentes de baja frecuencia, asociadas a escala alta. Estas variaciones se correlacionaron con las características litológicas de la Formación Thirtyone que,

junto con la información de los perfiles asociados a dichos escalogramas, facilitaron la identificación de cuatro zonas (de más profunda a más somera): Zona 4, Zona 3, Zona 2 y Zona 1.

En la Zona 4 (14778 - 14550 pies), el registro GR (ver Figura 4(a)), por observación directa, sugiere una agradación de sedimentos, mientras que el análisis de las siluetas representativas en los escalograma muestra un cambio progresivo en la morfología que se asocia al cambio de la litología que constituye la base de la Formación. En la Zona 3 (14550 - 14410 pies), se identificaron siluetas de medianas a altas intensidad en los escalogramas de los registros GR y Rt, así como también pequeños patrones repetitivos a escalas menores a 100, indicando un posible cambio en el ritmo de sedimentación, de mayor a menor energía.

En la Zona 2 (14410 - 14290 pies) se observan eventos de altas intensidades (rojo oscuro) en el escalograma del perfil de resistividad, que coinciden con los valores altos en este perfil, por lo que es posible relacionar este evento con fluidos presentes en la Formación. Mientras que, las variaciones presentadas en el escalograma del registro GR pueden asociarse a cambios en el ambiente de sedimentación, ya que, al visualizar directamente el registro GR, se identifican lecturas relativamente altas (40 respecto a 20 API) que implican una disminución en el tamaño de grano y, por ende, un cambio de facies (ver Figura 4(a)).

Por último, en la Zona 1 (14290 - 14146 pies) fue posible identificar estructuras que van de bajas (menores a 50) a altas escalas. Estas estructuras pueden asociarse a la contribución de los microporos de la roca que constituye el tope de la Formación. De acuerdo con Ruppel y Barnaby (2001), dicho tope está constituido, principalmente, de carbonatos que gradan a sedimentos ricos en sílice, dando como resultado una facies lodosa que indica un aumento relativo del nivel del mar.

Las zonas diferenciadas permitieron caracterizar los cambios en la fase de sedimentación y, con ello, la identificación de topes y límites estratigráficos como SB, MFS y TS (Límites de Secuencia, Superficie de Máxima Inundación y Superficie Transgresiva) presentes en la Formación.

La Figura 4(b) muestra que los topes estratigráficos establecidos se corresponden con eventos de alta intensidad (color rojo) en el escalograma del registro GR, y coinciden con los límites de secuencia (SB) interpretados. Asimismo, las siluetas de mediana a alta intensidad (de color verde a rojo) mostradas en los escalogramas de los registros GR y Rt a, aproximadamente, 14280 pies y 14520 pies (ver Figura 4(b)), facilitaron la interpretación de las superficies de máxima inundación (MFS). Las siluetas de baja intensidad (color azul) se asociaron a las facies regresivas y transgresivas.

Para establecer una relación entre las discontinuidades estratigráficas interpretadas a partir de los escalogramas y visualizar la posible extensión lateral de la Formación Thirtyone, se seleccionó un marcador representativo ubicado y distinguido mediante los eventos (siluetas bien delimitadas) a lo largo del escalograma del registro GR.

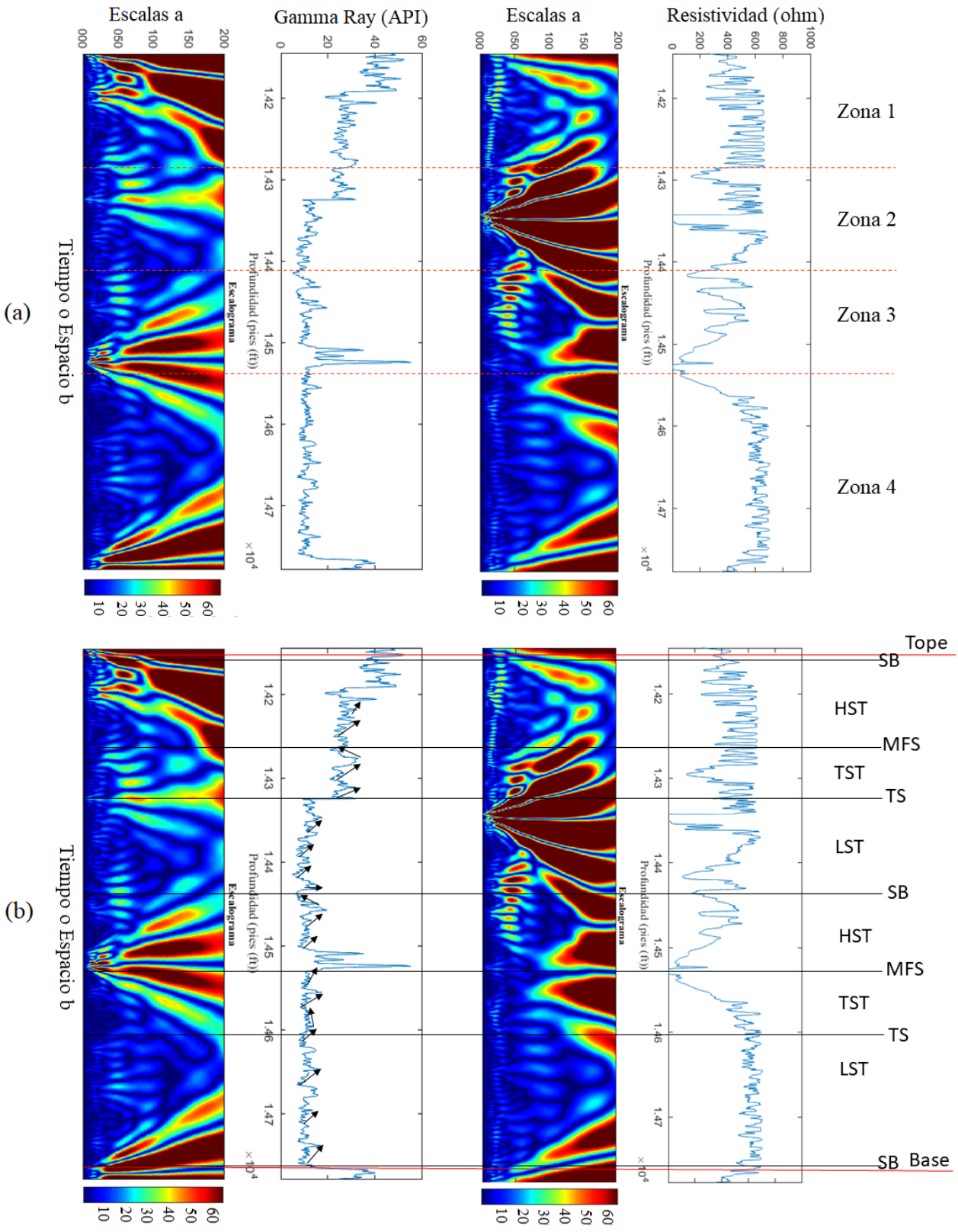


Figura 4. (a) Delimitación de zonas de interés para el pozo 37, a partir los eventos observados en los escalogramas. (b) Interpretación estratigráfica para del pozo 37, Campo West Waha - Worsham Bayer.

En la [Figura 5](#) se muestra la correlación lateral entre los pozos 29, 37 y 46, referida, básicamente, a la Formación Thirtyone.

Se elaboró un posible esquema secuencial donde los límites de secuencia se establecen desde estratos más antiguos (SB1 y MFS1) hasta los más jóvenes (SB3 y MFS3), y se distinguen mediante un número. Desde la base de la Formación hay un límite de secuencia (SB1), solo para los pozos 37 y 46. En el pozo 29 no se encontró SB1. Es importante acotar que el rango de profundidades que se seleccionó en cada uno de los pozos, y que incluye a la Formación Thirtyone, corresponde al utilizado por [Haruna et al. \(2014\)](#). Sin embargo, la Formación puede alcanzar mayores profundidades. Es posible, entonces, que el intervalo seleccionado en el pozo 29, que incluye la casi totalidad de la Formación Thirtyone, no alcance la profundidad de este límite de secuencias SB1.

Seguidamente, se observa el comienzo de la sedimentación de cortejos de nivel bajo (LST) (ver [Figura 5](#)). Luego, se produce una transgresión que termina con una superficie de máxima inundación (MFS1), lo que indica el comienzo de la sedimentación de cortejos de nivel alto (HST), acompañados por un nuevo límite de secuencia (SB2). La secuencia continúa con la sedimentación de cortejos de nivel bajo (LST), que indican una disminución relativa del nivel del mar, seguida de una transgresión (TST) que finaliza con una superficie de máxima inundación (MFS2) de estratos más jóvenes. La secuencia continúa hasta cerca del tope de la Formación, en la que es posible identificar un tercer límite de secuencia (SB3) (ver [Figura 5](#)).

En general las siluetas observadas de los registros de los pozos seleccionados pertenecientes a los campos West Waha - Worsham Bayer, permitieron caracterizar, fácilmente, los límites de secuencias estratigráficas a

partir de los cambios máximos y mínimos en la señal analizada. Estos cambios no son fácilmente distinguibles por observación directa de los registros ([Sánchez, 2011](#); [Sánchez et al., 2017](#)). Además, se observó una correspondencia entre las siluetas de alta intensidad (color rojo) y los topes estratigráficos establecidos previamente en el área de estudio (ver [Figura 5](#)).

En el Campo Dragón, los eventos representativos (siluetas bien delimitadas y pequeñas estructuras, similares a las observadas y descritas, previamente, para los pozos de los campos West Waha - Worsham Bayer) identificados en los escalogramas, sirvieron como guía para el análisis de los registros de pozos.

En este sentido, se delimitó, por zonas, la Formación Cubagua tal como se muestra en el escalograma de la [Figura 6\(a\)](#) correspondiente al pozo 4 de este campo. Desde la base de la Formación, identificada como Zona 4 (7900 - 7755 pies), se observan siluetas representativas de alta (~150) a mediana intensidad (~100) en el escalograma del GR, que se relacionan al límite basal de la unidad sedimentaria. Asimismo, y en dirección ascendente, se observaron siluetas de menor intensidad (color azul) que anticipan el cambio del ambiente de sedimentación. Es importante mencionar que, por observación directa del registro GR, solo es posible observar agradación de sedimentos en esta zona. La Zona 3 (7755 - 7610 pies) en el escalograma se caracteriza por la presencia de siluetas de mediana a alta intensidad (de color verde a rojo) que representan muy bien el cambio de la fase de sedimentación de mayor a menor energía. Asimismo, se observan variaciones de estructura ubicadas entre 7700 y 7650 pies, cuya escala es inferior a 100. Estas estructuras, junto a las variaciones observadas en el análisis del perfil de resistividad en el mismo intervalo de profundidad, sugieren la presencia de fluido en el espacio poroso.

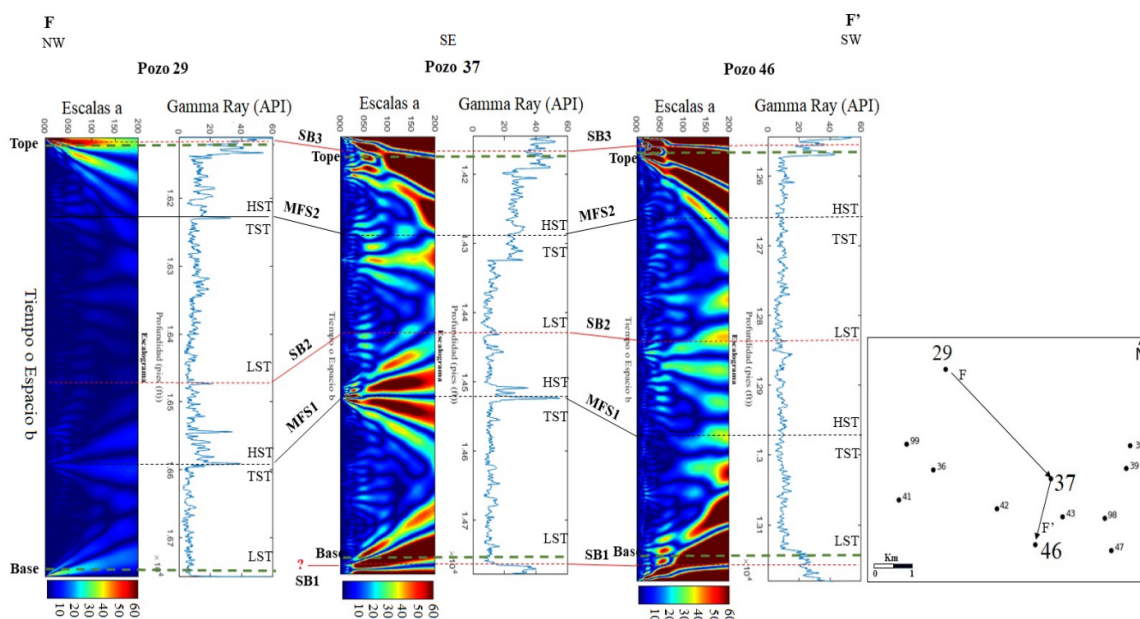


Figura 5. Posible correlación estratigráfica entre los pozos 29, 37 y 46. Campo West Waha - Worsham Bayer F-F': Perfil de la correlación entre pozos Campo Dragón.

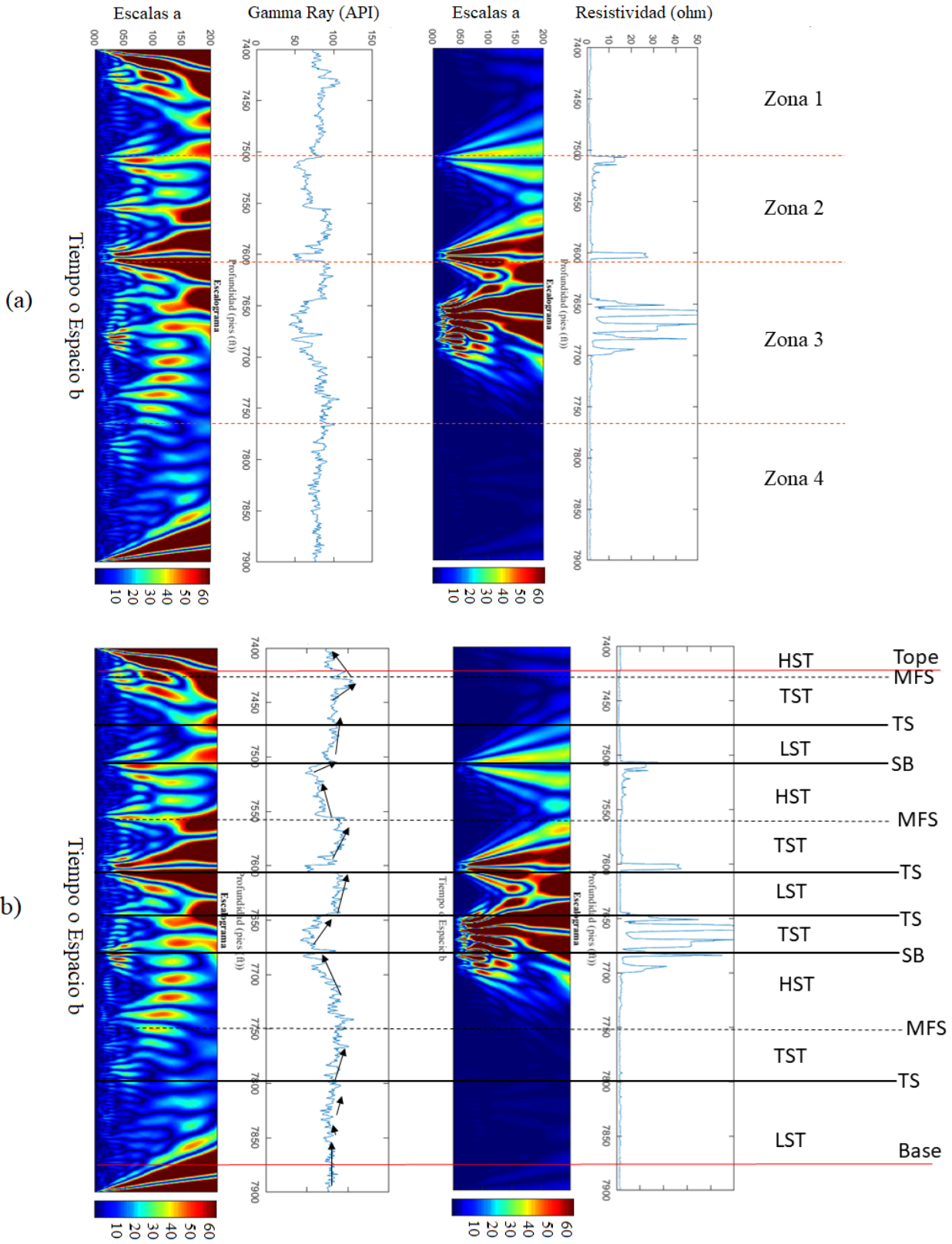


Figura 6. (a) Delimitación de zonas de interés para el pozo 4, a partir de los eventos observados en los escalogramas. (b) Interpretación estratigráfica del pozo 4, Campo Dragón.

La Zona 2 (7610 - 7505 pies) continúa con la tendencia de la zona infrayacente a ella, pero, en este caso, es posible observar valores en los escalogramas que marcan una sucesión de eventos de alta (a 7600 pies) a moderada intensidad (a 7505 pies). Dichos eventos se asocian a la disminución del tamaño de grano y, posiblemente, a la presencia de fluido en los poros de las rocas. En cuanto a la Zona 1 (7505 - 7400 pies), es posible establecer un límite de sucesiones de eventos hasta llegar al tope de la Formación, donde se observaron siluetas, bien delimitadas y de alta intensidad, en el escalograma (color rojo) que se relacionan con el límite estratigráfico de la unidad estudiada.

El análisis integrado de los registros y escalogramas permitió caracterizar las geometrías distintivas controladas por las variaciones relativas del nivel del mar en la Formación Cubagua. Estas geometrías pueden ser identificadas mediante la observación de siluetas en los escalogramas, como se muestra en la Figura 6(b).

Los sistemas transgresivos (TS) (Figura 6(b)) se asocian a siluetas de menor intensidad (color azul), las superficies de máxima inundación (MFS) a siluetas de mediana a alta intensidad (de color verde a rojo) y los límites de secuencia (SB) a siluetas largas y delimitadas de moderada a alta intensidad (color rojo oscuro).

Se realizó una correlación estratigráfica entre los pozos 1, 4 y 6 de este campo (ver Figura 7). Se distinguen (desde la base hacia el tope) tres límites de secuencia (SB) y tres superficies de máxima inundación (MSF), numerados de más antiguo a más joven. El primer límite de secuencia

(SB1) no fue observado en el pozo 4, posiblemente debido a que, al igual que para el caso de la Formación Thirtyone, el rango seleccionado en este estudio con base a los trabajos de Vásquez y Ochoa (2014), Mota (2015) y Arriaga (2009), comprende la casi totalidad de la Formación Cubagua, pero no alcanzó la profundidad suficiente para visualizar este límite. Es importante mencionar que Arriaga (2009) realizó análisis bioestratigráficos de la Formación Cubagua. La correlación con las demás superficies estratigráficas fue alta, a excepción de la última superficie de inundación (MFS3), que no se diferenció entre los pozos 6 y 1.

En términos generales, se puede afirmar que la implementación de la CWT ha resultado ser un complemento valioso en el análisis estratigráfico secuencial en los pozos de este campo. La CWT permitió detectar patrones y eventos en el tiempo a diferentes escalas, lo que resulta útil para la división cuantitativa de las secuencias sedimentarias.

Estudio de ciclicidades.

Los resultados del análisis espectral del registro GR en el intervalo correspondiente a la Formación Thirtyone se presentan en la Tabla 2. En el análisis se identificaron tres periodos dominantes (ver Figura 8), los cuales se utilizaron para calcular las escalas de los eventos representativos. Se realizó un conteo de los eventos en estas escalas y se observó que cumplían con la relación teórica de Milankovitch (1:2:4.8). Con esta información, se calculó la tasa de sedimentación para cada ciclo utilizando la ecuación (7), obteniéndose un valor promedio de 156,48 m/Ma.

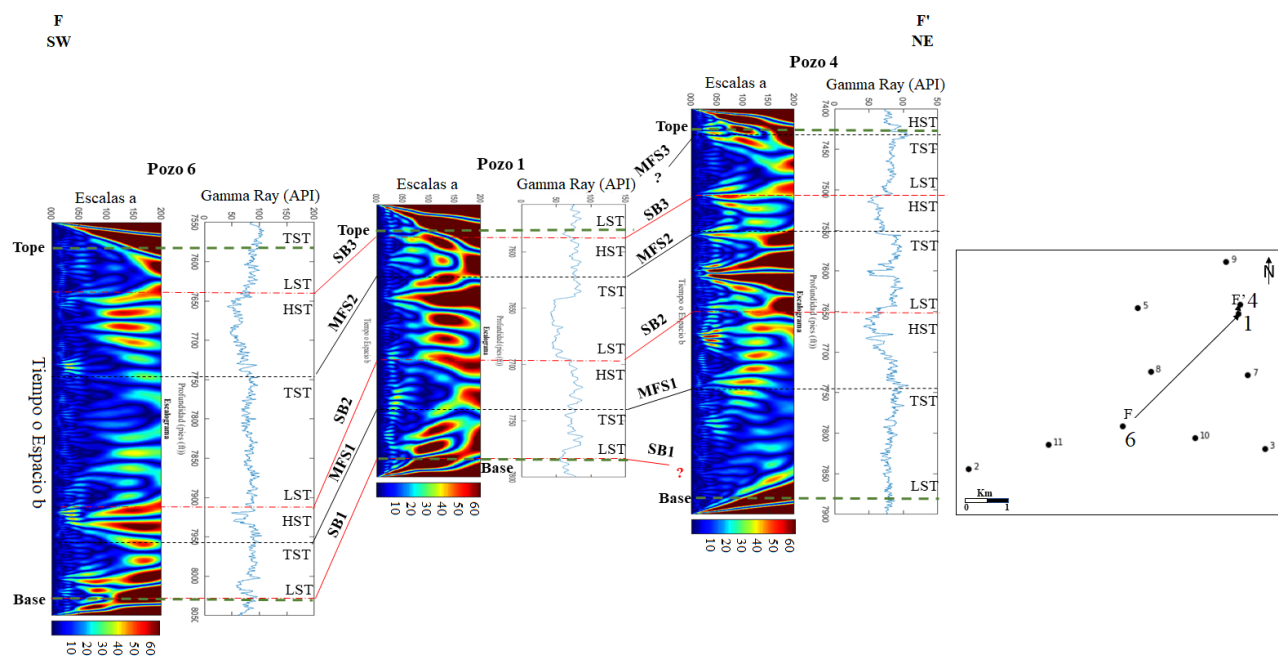


Figura 7. Posible correlación estratigráfica entre los pozos 6, 1 y 4, Campo Dragón. F-F': Perfil de la correlación entre pozos Campo Dragón.

Tabla 2. Resultados obtenidos del análisis de escalograma y periodograma, pozo 37.

Escala a (1/pies)	λ (m)	Relación	V (m/Ma)
93	14,91	1	149,12
41	6,50	2,01	158,58
20	3,24	4,61	161,74

a : escalas, λ : longitudes de onda correspondientes a los eventos representativos identificados en los escalogramas; relación entre las longitudes de onda; y V : velocidades de sedimentación obtenidas usando la ecuación (7).

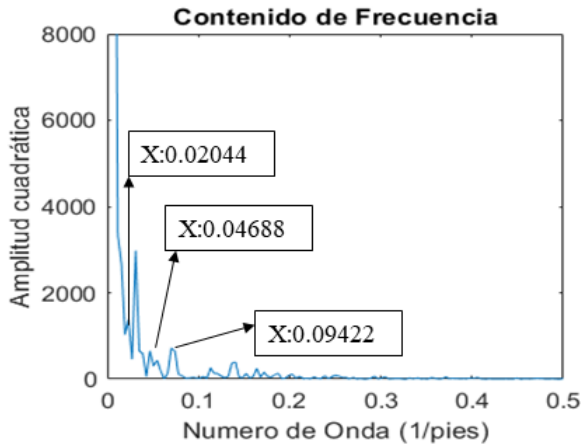


Figura 8. Periodograma del registro GR, pozo 37.

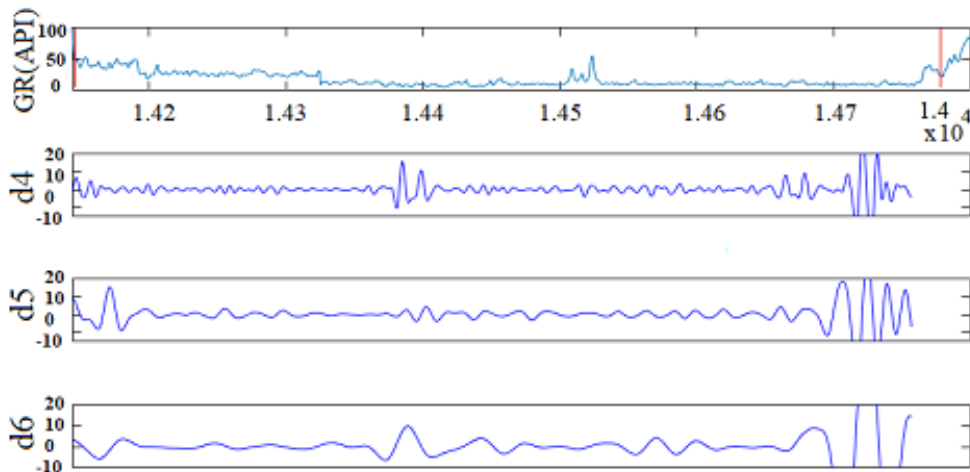


Figura 9. Análisis multirresolución del registro GR, pozo 37.

Los resultados del análisis de los pozos del Campo Dragón, presentados en la [Tabla 5](#), arrojaron resultados variados en cuanto a la correspondencia entre los valores calculados de la relación entre ciclos y los valores teóricos de Milankovitch (1:2:4,8). Mientras que en el pozo 6 se observó una buena concordancia con estos valores teóricos, en los pozos 1 y 4 solo se encontraron similitudes en cuanto a la influencia de los ciclos de precesión y oblicuidad en la sedimentación de la Formación Cubagua. Es posible, entonces, que en este

Además, se utilizó el Método 2 para analizar los mismos datos. En este caso, se tomó en consideración la escala computada y se calculó el logaritmo base 2 de la misma. Los resultados se presentan en la [Figura 9](#) y en la [Tabla 3](#); en esta última se observa una relación 1:2,1:4,8 entre los ciclos 72, 31 y 15. Con esta relación, se calculó una tasa de sedimentación promedio de 137,92 m/Ma (ver [Tabla 3](#)).

Tabla 3. Resultados del análisis multirresolución, Pozo 37.

Escala estimada a (1/pies)	V (m/Ma)
93	128,42
41	151,56
20	133,77

a : escalas, V : velocidades de sedimentación

Los análisis anteriores se hicieron para todos los pozos de los campos West Waha - Worsham Bayer y Dragón; los resultados se presentan en las [Tablas 4](#) y [5](#), respectivamente.

En todos los pozos del campo West Waha-Worsham Bayer, se observaron valores aproximados entre la relación de ciclos calculada, usando tanto la CWT como el análisis multirresolución del GR, y la relación teórica de ciclos de Milankovitch (1:2:4,8) (ver [Tabla 4](#)). Esto sugiere que las variaciones orbitales fueron un factor importante que controló la sedimentación de la Formación Thirtyone en los pozos de estudio. De este análisis se obtuvieron tasas de sedimentación de 172,71 m/Ma, con el Método 1, y de 155,96 m/Ma con el Método 2, para un valor promedio de 164,34 de m/Ma.

caso los ciclos de frecuencias más altas no se relacionen con las variaciones orbitales de Milankovitch sino con ciclicidades propias de la formación. Así, los ciclos periódicos identificados y el análisis estratigráfico secuencial realizado para esta Formación sugieren que los patrones verticales, identificados a mayor escala en los pozos estudiados, tienen relación con las variaciones climáticas controladas por Milankovitch y, a menor escala, los patrones no correlacionables entre pozos pueden tener un control autocíclico.

Se calculó la tasa de sedimentación para cada ciclo utilizando los métodos indicados, obteniéndose valores promedio de 169,78 m/Ma y 151,02 m/Ma, con el Método 1 y Método 2, respectivamente, (Ver Tabla 5). El valor promedio de ambos métodos para los pozos estudiados es de 160,40 m/Ma. Es importante mencionar que los cálculos realizados están sujetos a la calidad del escalograma, a la escala estimada y al conteo de eventos en esa escala. Los valores promedio de la tasa de sedimentación obtenidos

pueden ser un indicador representativo de los eventos sedimentarios más importantes en el intervalo de análisis de los pozos. Sin embargo, para obtener un valor más cercano al real, debe tenerse en cuenta las diferencias en las tasas de sedimentación en distintos ambientes y sistemas sedimentarios, ya que las tasas de sedimentación pueden variar significativamente entre un TST y un HST, así como entre un régimen carbonático y un régimen siliciclástico.

Tabla 4. Resultados del análisis multirresolución de los registros GR, pozos de los campos West Waha - Worsham Bayer.

Pozo	Método 1			Método 2		
	Escala (1/pie)	Relación	Tasa de sedimentación (m/Ma)	log ₂	Relación	Tasa de sedimentación (m/Ma)
29	101	4,68	162,91	6	1	141,51
	47	2,45	187,56	5	2,07	166,62
	22	1	162,90	4	4,43	159,77
	Promedio (m/Ma)		174,77	Promedio (m/Ma)		155,97
37	93	4,61	149,12	6	1	128,42
	41	2,01	158,58	5	2,1	151,56
	20	1	161,74	4	4,8	133,77
	Promedio (m/Ma)		156,48	Promedio (m/Ma)		137,92
46	113	4,43	182,29	6	1	160,67
	44	1,72	173,00	5	2,21	176,98
	26	1	205,33	4	4,36	184,37
	Promedio (m/Ma)		186,88	Promedio (m/Ma)		174,01

Tabla 5. Resultados del análisis multirresolución de los Registros GR, pozos del Campo Dragón.

Pozo	Método 1			Método 2		
	Escala (1/pie)	Relación	Tasa de sedimentación (m/Ma)	log ₂	Relación	Tasa de sedimentación (m/Ma)
1	139	1	156,05	7	1	127
	65	2,11	190,31	6	1,66	185,85
	46	3,08	No se cumple	5	4,33	146,53
	Promedio (m/Ma)		173,18	Promedio (m/Ma)		153,13
4	136	1	149,13	7	1	169,33
	67	1,96	178,33	6	2,08	154,87
	34	4,01	No se cumple	5	3,91	No se cumple
	Promedio (m/Ma)		163,73	Promedio (m/Ma)		162,10
6	157	1	172,93	7	1	127
	59	1,75	158,59	6	2,08	148,68
	34	4,65	185,78	5	4,16	No se cumple
	Promedio (m/Ma)		172,43	Promedio (m/Ma)		137,84

CONCLUSIONES

El análisis de registros de pozos usando la Transformada Ondícula, proporcionó información útil para la definición de secuencias estratigráficas y el estudio de ciclicidades en las Formaciones Thirtyone (campos West Waha - Worsham Bayer, EE. UU.) y Cubagua (Campo Dragón, Venezuela).

El uso de escalogramas permitió una mejor visualización y, por tanto, interpretación de las variaciones sutiles existentes en los registros de pozo, no detectables en la observación directa de los registros. Esto llevó a una división y correlación de las secuencias estratigráficas, con un acercamiento más cuantitativo, así como al reconocimiento de topes estratigráficos previamente establecidos en el área de estudio usando otro tipo de información (e.g. datos de núcleos y bioestratigrafía).

La utilización de la Transformada Ondícula, en conjunto con la Transformada Rápida de Fourier, permitió un análisis detallado de las ciclicidades presentes en los registros de pozo. Los resultados obtenidos mostraron una relación entre las periodicidades reconocidas y los ciclos de Milankovitch, lo que permitió calcular la tasa de sedimentación para cada ciclo y tener una mejor comprensión de la influencia del clima en la dinámica del medio. Las tasas de sedimentación promedio obtenidas para las Formaciones estudiadas en ambos campos (164,34 y 160,40 m/Ma para Thirtyone y Dragón, respectivamente) se pueden considerar un indicador representativo que debe afinarse usando información adicional (e.g. ambientes sedimentarios, datos de núcleos, etc.), no disponible en el presente estudio.

Es importante tener en cuenta que las respuestas de los escalogramas varían en función de la señal analizada. Por lo tanto, sería beneficioso combinar varios registros integrando, por ejemplo, registros de densidad y neutrón a los usados en este estudio, para interpretar las diferentes secuencias estratigráficas asociadas a límites de secuencias. Además, para confirmar la precisión de estos límites, se recomienda utilizar datos de núcleo si se dispone de esa información.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer a J. Casas, C. Rodríguez y a un árbitro anónimo, por todos sus comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar el manuscrito final.

REFERENCIAS

- ADDISON, P. (2005). Wavelet transforms and the ECG: a review. *Physiol Meas*, 26(5), R155-R199.
- ADEKUNLE, A. (2012). *Spectral decomposition techniques as hydrocarbon indicators a case study of West Waha and Worsham Bayer Field, West Texas*. [M.Sc. Thesis, University of Houston], USA. <https://uh-ir.tdl.org/bitstream/handle/10657/ETD-UH-2012-05-448/ADEKUNLE-.pdf?sequence=1>.
- ARRIAGA, M. (2009). *Estudio biostratigráfico con base en nanoplankton calcáreo de un pozo costa afuera al norte de la Península de Paria, Cuenca Carúpano, Venezuela*. [Trabajo Especial de Grado]. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- AVILÉS, M. (2013). *Modelado de facies sedimentarias en la Cuenca Delaware, oeste de Texas, mediante Simulación Gaussiana Truncada*. [Tesis de Maestría]. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- BARMASE, S., SAURAV D., & MUKHOPADHYAY, S. (2013). Wavelet Transform-Based Analysis of QRS complex in ECG Signals. arXiv:1311.6460v1 [cs.CE]. <https://arxiv.org/abs/1311.6460>.
- CASTRO, M., & MEDEROS, A. (1984). Estratigrafía de la cuenca de Carúpano (Cuaternario, Neógeno, paleógeno, Cretáceo y Jurásico). Informe Interno, Departamento de Geología, Grupo de Estudios Regionales, Lagoven, 52 pp.
- COCONI-MORALES, E., RONQUILLO-JARILLO, G., & CAMPOS-ENRIQUEZ, J. O. (2010). Multi-scale analysis of well-logging data in petrophysical and stratigraphic correlation. *Geofísica internacional*, 49(2), 55-67.
- DAUBECHIES, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, PA: SIAM (Society for Applied and Industrial Mathematics) Books.
- HARUNA, K.A., OJO O.J., & ODUFISAN, W. (2014). Subsurface Mapping and Reservoir Evaluation of West Waha and Worsham-Bayer Field Area of Southeastern Delaware Basin, West Texas. *Pacific Journal of Science and Technology (PJST)*, Akamai University, U.S.A, 15(1), 360-374.
- KAISER, G. (1994). *A Friendly Guide to Wavelets*. Birkhauser, Boston, 300 pp.
- KERANS, C. (1990). Depositional systems and karst geology of the Ellenburger Group (Lower Ordovician), subsurface West Texas. The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations No. 193, 63 p.
- KOSTERS, E. C., & FINLEY, R. J. (1989). Atlas of Major Texas Gas Reservoirs. Gas Research Institute.
- KYLE, J. (1990). Geological history and mineral resource development of the norther Trans-Pecos region, Texas and New Mexico. En J. R. Kyle, Industrial mineral resources of the Delaware Basin, Texas and New Mexico. Soc. Econ. Geol., Guidebook Series, Vol. 8, 84-96.

- MARTÍN-CHIVELET, J., PALMA, R. M., DOMINGO, L., & LÓPEZ-GÓMEZ, J. (2015). Cicloestratigrafía, Cambio Climático y la Escala de Tiempo Astronómico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(2), 136 p. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/306514>.
- MISITI, M., MISITI, Y., OPPENHEIM, G., & POGGI, J. (1997). Wavelet Toolbox for Use with MATLAB®: User's Guide Version 2. The MathWorks. Inc., Apple Hill Drive Natick, USA (pág. 36).
- MOTA, A. (2015). *Análisis de procedencia de los sedimentos correspondientes a los sistemas encadenados de regresión forzada (FSST) y de nivel bajo (LST), de edad Mioceno tardío-Plioceno temprano del Alto de Patao, al Norte de Paria*. [Tesis de Maestría, Universidad Central de Venezuela]. Caracas, Venezuela. <http://hdl.handle.net/10872/18940>.
- QIAN, S. (2002). *Introduction to Time-Frequency and Wavelet Transforms*, Prentice-Hall.
- RUPPEL, S. C., & HOLTZ, M. H. (1994). Depositional and Diagenetic Facies patterns and reservoir development in Silurian and Devonian Rocks of the Permian Basin. The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations No. 216, 89 p.
- RUPPEL, S., & BARNABY, R. (2001). Contrasting styles of reservoir development in proximal and distal chert facies: Devonian Thirtyone Formation, Texas. *AAPG Bulletin*, 85(1), 7-33.
- SÁNCHEZ, F. (2011). *Análisis Multiescala de Registros de Pozo, Campo Lama; Venezuela*. [Trabajo de grado]. Universidad Simón Bolívar]. Caracas, Venezuela.
- SÁNCHEZ, F., ALDANA, M., & FALCÓN, R. (2017). Descomposición espectral de registros de pozo usando la Transformada Ondícula para análisis estratigráficos y de ciclicidades, Campo Lama, Venezuela. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 40(1), 3-10.
- SUTHERLAND, D. A. (1994). Foundations, Applications, and Assessment of Wavelets [microform]. [Boulder, CO]: U.S. Dept. of Commerce, National Telecommunications and Information Administration, 63 p. <https://its.ntia.gov/umbraco/surface/download/publication?reportNumber=93-302.pdf>.
- VALENCIA, Y. & RAMIREZ, R. (2014). Interpretation of Tectonosequence in a Structural High Containing Gas Fields in the Carupano Basin, Offshore Northeastern Venezuela. International Gas Union Research Conference IGRCopenhagen, September 17-19, Copenhagen, Dinamarca, 7p. http://members.igu.org/old/IGU%20Events/igrc/igrc-2014/papers/wp4-2_valencia_ramirez.pdf.
- VASQUEZ, C., & OCHOA, W. (2014). An improved gas-reservoir delineation from seismic-derived impedance and density interpretation at Dragon field, Venezuela. *The Leading Edge*, 33(7), 698-824.
- YU, J., SUI, F., LI, Z., HUA, L. & WANG Y. (2008). Recognition of Milankovitch cycles in the stratigraphic record: application of the CWT and the FFT to well-log data. *Journal of China University of Mining and Technology*, 18(4), 594-598.